

Литература

1. Каспарьянц К.С., Кузин В.И., Григорян Л.Г. Процессы и аппараты для объектов промышленной подготовки нефти и газа. – М.:«Недра». – 1977. – 250 с.
2. Николаев Е.В., Харламов С.Н. Исследование сепарационных процессов углеводородных многокомпонентных систем в режимах функционирования оборудования предварительной подготовки нефти // Известия Томского политехнического университета, 2016. – Т. 327. – № 7, – с. 84–99.
3. Базис HYSYS. – AspenTech, Версия 2006. – 311 с.
4. Варгафтик Н.Б., Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.:Наука, 1972. – 720 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНЫ С ГРУНТОМ И ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ НА БАЗЕ ОДНОМАССОВОЙ МОДЕЛИ

Е.В. Попова

Научный руководитель профессор Д.В. Кондратов

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Россия

Рассмотрим динамику взаимодействия круглой пластины, установленной на грунте со слоем вязкой несжимаемой жидкости. Радиус пластины R значительно больше ее толщины h_0 . На торце она жестко закреплена. Пластина образует одну из стенок узкого канала, вторую стенку которого образует абсолютно жесткий диск аналогичного радиуса. Для грунта примем модель Винклера. Канал полностью заполнен вязкой жидкостью, которая на торце свободно истекает в такую же окружающую жидкость, давление в которой пульсирует по заданному гармоническому закону $p=p_0+p_m\sin(\omega t)$, p_0 – статическое давление, p_m – амплитуда пульсаций. Толщина слоя жидкости в канале δ_0 , амплитуда прогибов пластины значительно меньше данной толщины. Введем в рассмотрение цилиндрическую систему координат $Or\varphi z$, связанную с центром пластины и рассмотрим осесимметричную задачу. Упругие прогибы пластины w на основной моде ее колебаний будем моделировать перемещениями одномассовой системы z_m . Для этого осуществим переход от пластины к диску с приведенной массой m^* , который подвешен на пружине с приведенной жесткостью n^* , как предложено в работах [1,3], т.е. рассматриваем следующую колебательную систему, состоящую: из жесткой неподвижной стенки канала 1, жесткой стенки 2 с упругой связью и пульсирующего слоя вязкой жидкости 3 между ними (см. рис.1).

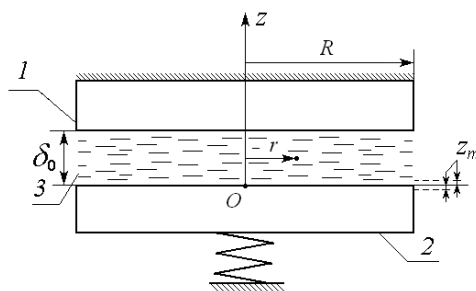


Рис.1

Согласно работам [1,3] массу m^* находим из условия равенства кинетических энергий пластины и одномассовой системы, жесткость n^* определим из условия совпадения статического прогиба пластины w^{\max} , при действии равномерно распределенной нагрузки эквивалентной силе $F^* = 1$ Н, со статическим перемещением одномассовой системы, т.е.

$$m^* = (w_a)^{-2} \int_0^R m_c (w(r))^2 dr, \quad m_c = \rho_0 h_0 2\pi r, \quad n^* = F^* / w^{\max}. \quad (1)$$

здесь ρ_0 – плотность материала пластины, $w(x)$ – прогиб пластины, w_a – прогиб пластины в точке сосредоточения массы $x = a$.

Прогиб пластинки определим по методу Бубнова-Галеркина в первом приближении выбирая его форму как $w = w^{\max}(1-(r/R)^2)^2$. После этого сосредоточивая массу в середине пластины, т.е. при $x = 0$, получим:

$$m^* = \rho_0 \pi R^2 h_0 / 5, \quad n^* = 64 \pi D R^{-2} (1 + \varepsilon R^4 D^{-1} / 84), \quad D = E h_0^3 / (12(1 - \mu_0^2)), \quad (2)$$

здесь μ_0 – коэффициент Пуассона материала пластины, ε – коэффициент жесткости грунта (коэффициент постели), E – модуль Юнга материала пластины.

Уравнение движения пластины как одномассовой модели имеет вид

$$m^* \ddot{z} + n^* z = N, \quad (3)$$

где N – сила давления жидкости; m^* – приведенная масса; n^* – жесткость подвеса; $z = z_m f(\omega t)$ – закон перемещения пластины-стенки.

Решение задачи динамики вязкой жидкости в узкой щели согласно [2] проведем для случая ползущего течения. В качестве граничных условий выбраны условия прилипания жидкости к стенкам канала и условия равенства давления на торце давлению в окружающей жидкости [2-5]. В этом случае силу N определим аналогично [4] в результате получаем

$$N = -\pi R^2 (p_0 + p_m \sin(\omega t)) - K \dot{z}, \quad (4)$$

где $K = 3\pi R^2 \rho \nu / (2\delta_0 \nu^2)$ – коэффициент демпфирования, ρ – плотность жидкости, ν – кинематический коэффициент вязкости.

Учитывая выражение (4) в уравнении (3) и решая его для режима установившихся гармонических колебаний находим

$$z = -\frac{\pi R^2 p_0}{n^*} - \frac{\pi R^2 p_m}{\sqrt{(n^* - m^* \omega^2)^2 + K^2 \omega^2}} \sin(\omega t + \varphi), \quad \varphi = \arctg(K \omega / (m^* \omega^2 - n^*)). \quad (5)$$

Найденный закон движения стенки позволяет определять резонансные частоты колебаний пластины и соответствующие им амплитуды в зависимости от физических свойств жидкости и грунта. Полученные результаты могут быть использованы для математического моделирования различных технических процессов и систем в арктических условиях, а также использоваться для определения коэффициента жесткости грунта по параметрам вынужденных колебаний пластины.

Выполнено при поддержке гранта Президента РФ МД № 6012.2016.8 и гранта РФФИ №15-01-01604-а

Литература

1. Ageev R.V., Mogilevich L.I., Popov V.S., Popova A.A., Kondratov D.V. Mathematical model of pulsating viscous liquid layer movement in a flat channel with elastically fixed wall // *Applied Mathematical Sciences*. – 2014. – Т. 8. – № 157–160. – С. 7899–7908
2. Могилевич Л.И., Попов В.С. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2003. – 156с.
3. Могилевич Л.И., Попов В.С. Динамика взаимодействия упругого цилиндра со слоем вязкой несжимаемой жидкости // *Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*. – 2004. – № 5. – С. 179–190.
4. Могилевич Л.И., Попов В.С. Исследование взаимодействия слоя вязкой несжимаемой жидкости со стенками канала, образованного соосными вибрирующими дисками // *Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа*. – 2011. – № 3. – С. 42–55.
5. Могилевич Л.И., Попов В.С., Попова А.А. Динамика взаимодействия пульсирующей вязкой жидкости со стенками щелевого канала, установленного на упругом основании // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. – 2017. – № 1. – С. 15–23.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА В МЕРЗЛОМ ГРУНТЕ**

Д.А. Уваров, А.О. Шамурадов, Т.Ю. Баклушин

Научный руководитель доцент А.В. Рудаченко

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия*

При определении работоспособности трубопроводов в условиях Арктики или приближенных к ним, необходимо провести анализ механического взаимодействия трубы с вечномерзлым грунтом. При этом требуется количественно оценить пучение мерзлых грунтов на напряженно-деформированное состояние конструкции [2].

Целью работы является изучение взаимодействия трубопровода с различными типами мерзлых грунтов, а также исследование его напряженно-деформированного состояния.

В ходе работы решены следующие задачи: 1. Проведен анализ выталкивающей силы грунта в зависимости от глубины промерзания и типа грунта; 2. Построение модели трубопровода, показывающей его деформации в зависимости от типа выбранного грунта.

Вспучивание грунта и появление равномерно распределенных сил морозного пучения вдоль трубопровода, действующих на трубу вертикально снизу - вверх, возникают как в зимнее, так и в летнее время на сильно обводненных участках трассы [3]. Таким образом, давление вспучивания, воздействующее на весь объем грунта обуславливает давление льда. Сила веса грунта и сопротивление разрыву и сжатию грунта противодействует давлению льда. Ограниченная поверхность раздела фаз лед-вода-грунт определяет более высокое давление льда, когда в воде поддерживается более низкое давление.

Так как глинистые грунты очень хорошо удерживают в себе влагу, они сильнее всего подвержены вспучиванию. В работе проведен сравнительный анализ выталкивающей силы двух типов грунтов, где наглядно видна разница между глиной и песком (таблица).